نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و ششم / شماره سوم / پاییز ۱۴۰۱/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۳۲۹ تا ۳۴۲

بررسی زیست‌پالایی گیاه کینوا به‌منظور شوری‌زدایی از آب‌های نامتعارف

جهانگیر عابدی کوپایی*، محمد مهدی درافشان و علیرضا گوهری[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۵)

چکیده

روش‌های متعددی برای شوری‌زدایی از پساب‌های شور وجود دارد که یکی از مهم‌ترین آنها، زیست‌پالایی است. هالوفیت‌ها گیاهانی هستند که قادرند غلظت‌هایی از نمک را تحمل کنند که اغلب گیاهان در این شرایط قادر به حیات نیستند. در این پژوهش، امکان شوری‌زدایی با استفاده از گیاه هالوفیت کینوا گونه تیتیکاکا مورد مطالعه قرارگرفته است. گیاه کینوا با استفاده از سیستم کشت بدون خاک (هیدروپونیک) و در سه سطح شوری (۲، ۸ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر) و تعداد ۱۲ مخزن (۹ مخزن با گیاه و ۳ مخزن دیگر بدون گیاه و به‌عنوان شاهد) با تعداد کل ۱۳۵ بوته (تعداد ۱۵ بوته در هر مخزن) و با دو زمان ماند ۱۵روزه‌ای (۱۵ و۳۰ روز) و در قالب یک طرح کاملاً تصادفی به‌شکل چند عاملی با سه تکرار برای هر سطح شوری کشت داده شد و پارامترهای هدایت الکتریکی و سایر غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها، قبل و بعد از تصفیه توسط این گیاه اندازه‌گیری شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهندهٔ آن است که گیاه کینوا مقادیر هدایت الکتریکی را در سطوح شوری $EC \simeq 2$ dS/m (آب کم شور)، $EC \simeq 8$ dS/m (آب لب‌شور) و $EC \simeq 14$ dS/m (آب با شوری زیاد) در مدت ۳۰ روز به‌ترتیب ۵/۳۳، ۸/۱۲ و ۹/۳۵ درصد کاهش داد. همچنین یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و کلراید را به‌ترتیب حداکثر ۱۰، ۷/۶۲، ۵/۶۰ و ۷/۰۱ درصد بسته به سطح شوری کاهش می‌دهد. بر اساس نتایج این پژوهش، گیاه‌پالایی کینوا پتانسیل کمی در کاهش نمک از آب‌های نامتعارف مانند پساب‌های شور دارد.

واژه‌های کلیدی: تالاب تصفیه شناور، شوری‌زدایی، گیاه‌پالایی نمک از محلول‌ها

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: koupai@cc.iut.ac.ir

مقدمه

افزایش جمعیت جهان و نیاز روزافزون به تولید غذا و توسعه کشاورزی از یک‌طرف و کمبود منابع آب مورد نیاز برای پوشش دادن این نیاز جهانی از طرف دیگر، باعث شده است که توجه بشر به استفاده از منابع نامتعارف آب مانند آب‌ها و فاضلاب‌های شور جلب شود (۱۸). طبق گزارش سازمان جهانی بهداشت، پیش‌بینی می‌شود که ۶۷ درصد از جمعیت جهان در سال ۲۰۲۵ با کمبود آب مواجه می‌شوند (۹).

با توجه به رشد فزاینده جمعیت و محدودیت ذخایر آب شیرین جهان، شوری‌زدایی از آب‌های شور، اهمیت روزافزونی پیدا کرده است. در واقع انتخاب و توسعه یک فرایند شوری‌زدایی کارآمدتر و کم‌هزینه‌تر از روش‌های موجود، امری ضروری است. از این‌رو انتخاب بهترین روش شوری‌زدایی برای کاهش هزینه‌ها و تأمین آب کافی، امری اجتناب‌ناپذیر است (۲۳). روش‌های تصفیه متعددی برای نمک‌زدایی از آب دریا ارائه شده است که می‌توان آنها را در دو گروه اصلی فرایندهای غشایی (مانند اسمز معکوس و الکترودیالیز) با استفاده از نیروی مکانیکی و فرایندهای حرارتی (مانند تقطیر ناگهانی، تقطیر چندمرحله‌ای و تقطیر با تراکم بخار) با استفاده از میعان تولیدی طبقه‌بندی کرد (۱۷). یکی دیگر از روش‌های شوری‌زدایی، زیست‌پالایی است. گیاه‌پالایی، فرم جدید و با سرعت رشد زیاد پالایش زیستی است که در آن از گیاهان سبز و پوشش گیاهی مرتبط با آنها برای حذف، محدود کردن و یا سمیت‌زدایی آلاینده‌های محیط زیستی استفاده می‌شود (۱).

گیاهان ایده‌آل برای گیاه‌پالایی باید ویژگی‌های متعددی از قبیل توانایی رشد در محیط آلوده، رشد سریع، زیست‌توده باکیفیت بالا، برداشت آسان و قابلیت تجمع وسیعی از آلاینده‌ها و فلزات سنگین را در خود داشته باشند (۳ و ۱۹). در حال حاضر هیچ گیاهی شناخته شده‌ای نیست که تمام این معیارها را برآورده کند. گیاه‌پالایی یک رویکرد بلندمدت برای تمیز کردن محیط از آلاینده‌هاست (۲۹). موفقیت گیاه‌پالایی بستگی به عوامل مختلف مانند پتانسیل گیاه برای جذب آلاینده‌ها و مقدار آلاینده‌های موجود در محیط دارد (۳۲). گیاه‌پالایی در مکان‌های بسیار وسیعی که روش‌های دیگر پالایش و اصلاح ممکن است مقرون به‌صرفه یا عملی نباشد، می‌تواند در مکان‌هایی با آلودگی‌های سطحی مفید باشد (۲). هالوفیت‌ها یا گیاهان شورزیست، گیاهان مهم قابل‌ملاحظه‌ای هستند که قادرند غلظت‌هایی از نمک را تحمل کنند که ۹۹ درصد گیاهان در این شرایط قادر به حیات نیستند (۱۱). کینوا (Chenopodium quinoa Willd.) گیاهی دولپه‌ای، الوتتراپلوئید، از خانواده آمارانتاسه (Amarantaceae)، سه کربنه و هالوفیت اختیاری است که جزو شبه غلات دسته‌بندی می‌شود (۴). تحمل بالای کینوا به تنش شوری و خشکی موجب شده است که این گیاه سازگاری وسیعی به شرایط مختلف اقلیمی داشته باشد (۷). کینوا یک گیاه غالباً خودگرده‌افشان است و میزان دگرگرده‌افشانی در آن تنها بین ۱۰ تا ۱۷ درصد است (۱۳). مهم‌ترین کاربرد این گیاهان با توجه به خصوصیات بی‌نظیر آنها در تحمل شرایط نامطلوب، استفاده از آنها برای گیاه‌پالایی آلاینده‌های مختلف از محیط‌های آلوده اعم از خاک و آب است.

استفاده از گیاهان هالوفیت برای کاشت در تالاب‌های مصنوعی برای تصفیه پساب‌های شور یکی از کاربردهای این گیاهان در بحث گیاه‌پالایی است. راموس (Ramos) و همکاران در سال ۲۰۰۴، تأثیر نمک‌های سدیم کلراید و پتاسیم کلراید را بر رشد و تجمع این عناصر در بافت‌های مختلف گیاه شورزی آتریپلکس نامولاریا (Nummularia Atriplex) بررسی کردند. آزمایش‌ها نشان داد که این گیاه در شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر محلول ۱۰۰ میلی‌مول سدیم کلراید و پتاسیم کلراید دچار کاهش تدریجی وزن شدند و با افزایش غلظت نمک به علت کاهش پتانسیل اسمزی، رشد گیاه کاهش یافت. نکته قابل‌توجه در رابطه با این گیاه جذب قابل ملاحظه کاتیون سدیم به مقدار زیاد در ساقه و برگ آن بود (۲۶). تحقیق میدانی اسلام‌زاده در سال ۲۰۰۶ بر روی گیاه هالوفیت سالیکورنیا در منطقه دریاچه

مهارلو در استان فارس نیز نشان داد که میزان سدیم جذب شده در این گیاه در منطقه مذکور در ساقه‌ها و ریشه‌ها به‌ترتیب ۳۱۵۰۰ و ۱۱۰۴۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک گیاه بوده است (۱۰). در سال ۲۰۱۲ با استفاده از گیاه باسیااینديکا (Bassia indica) در سه آزمایش مختلف یعنی در سیستم هیدروپونیک، تالاب مصنوعی زیرسطحی جریان قائم و تالاب مصنوعی زیرسطحی جریان قائم همراه با بازچرخانی، کارایی این گیاه در کاهش شوری مورد بررسی و تحقیق قرار گرفت. گیاه باسیااینديکا به‌خوبی در هر سیستم رشد کرد و شوری آب را بین ۲۰ تا ۶۰ درصد در مقایسه با سیستم بدون گیاه کاهش داد (۳۱). در مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۳ استفاده از سیستم تالاب مصنوعی حاوی گیاهان آروندو (Arundo) و سالیکورنیا برای تصفیه فاضلاب با شوری بالا حاصل از صنعت دباغی مورد بررسی قرارگرفته و حذف COD بین ۵۱ تا ۸۰ درصد، حذف BOD بین ۵۳ تا ۹۰ درصد، حذف فسفر کل بین ۴۰ تا ۹۳ درصد، حذف نیتروژن آمونیاکی بین ۳۱ تا ۸۹ درصد و نیتروژن کلدال بین ۴۱ تا ۹۰ درصد گزارش‌شده است (۸). در سال ۲۰۱۳ مطالعه‌ای بر روی گیاه سالیکورنیا در محیط هیدروپونیک با ۱۲ غلظت نمک بین صفر تا ۵۰۰ میلی‌مولار سدیم کلراید و دو تیمار آب دریا با شوری ۲۰ و ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر در گلخانه انجام دادند. مدت زمان اعمال تیمارها ۴۲ روز بود. نتایج نشان دادند که مقادیر طراوت برگ، وزن خشک و قطر ساقه در شوری ۳۰۰ میلی مولار بیشترین مقدار بود و پس از آن کاهش یافت (۲۰). در مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۷ غلظت‌های سدیم و کروم در اندام‌های گیاه کینوا مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که کروم عمدتاً در ریشه‌ها انباشته شده است، درحالی که سدیم به قسمت‌های هوایی انتقال یافته است (۲۸). تالاب تصفیه شناور (Floating Treatment Wetland-FTW) که روی تشک‌های شناور گیاهان رشد می‌کنند، می‌توانند برای حذف آلاینده‌ها استفاده شوند. در واقع تالاب تصفیهٔ شناور یک سیستم هیدروپونیک است که محیط رشدی برای پوشش گیاهان هیدروفیت فراهم می‌کند که مواد مغذی (نیتروژن و فسفر) را از حوضچه دریافت می‌کند. سیستم‌های ایجاد شده برای بهبود کیفیت آب، برای تصفیهٔ فاضلاب‌های شهری، زهاب‌ها، مخازن آبرسانی مورد استفاده قرارگرفته است. از لحاظ بهبود کیفیت آب، برنامه‌های اصلی شامل کاهش غلظت عناصر مغذی، کنترل و کاهش میزان تبخیر و کاهش شوری آب به‌دلیل کاهش میزان تبخیر است. گیاه‌پالایی نمک از خاک‌ها از دهه‌های گذشته مورد توجه بوده ولی گیاه‌پالایی نمک از محلول‌ها (مانند پساب‌ها و فاضلاب‌های شور) به‌تازگی با توجه به اثرات زیست‌محیطی استفاده مجدد از آنها مورد توجه قرارگرفته است (۶، ۲۵، ۲۷ و ۳۳). به سبب تحمل گیاه کینوا در برابر تنش‌هایی مانند دمای بالا، خشکسالی و شوری (۲۴) به‌نظر می‌رسد این گیاه گزینهٔ مناسبی برای گیاه‌پالایی نمک باشد. لذا در این پژوهش، امکان شوری‌زدایی از پساب‌های شور با استفاده از گیاه کینوا مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام پژوهش، گیاه کینوا گونه تیتیکاکا که مطابق مطالعات نظری کارآمد و بدون اثرات ثانویه محیط زیستی است، به‌عنوان گونه مورد نظر انتخاب شد. بذر گیاه کینوا در اواسط خردادماه ۱۳۹۷ در مرکز پژوهشی کشت بدون خاک (هیدروپونیک) دانشگاه صنعتی اصفهان، با آب معمولی با هدایت الکتریکی کمتر از ۱ دسی‌زیمنس بر متر با بستر پرلیت و با کود محلول یک جانسون (Johnson) کامل کشت داده شد. در اوایل مردادماه ۱۳۹۷ به‌منظور استقرار گیاهان و انجام مطالعات و با توجه به طرح آزمایشی (آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی) که برای انجام تحقیق در نظر گرفته شده بود، تعداد ۱۲ مخزن ۷ لیتری تیره‌رنگ (۹ مخزن با گیاه و ۳ مخزن دیگر بدون گیاه و به‌عنوان شاهد) جهت انجام آزمایش تهیه شد. پس از رشد نسبی گیاهان، اقدام به شستن ریشه آنها و جدایی پرلایت آن به‌منظور استقرار آن در مخازن (ظروف) هیدروپونیک آب شور شد. به‌منظور شناورسازی و استقرار گیاهان در سطح زه‌آب شور درون مخازن، یونولیت‌هایی به قطر دهانه مخازن فراهم شد و گیاهان

درون آنها جایگذاری شدند. به‌دلیل تحکیم گیاهان در جای خود، محیط ریشه گیاهان با نخ به یونولیت‌ها آویزان شدند. آب‌شور مورد استفاده در این آزمایش از زهکش‌های یکی از چاه‌های واقع در استان اصفهان (روستای محمودآباد) به اسم چاه کوره برداشت شد. هدایت الکتریکی آب چاه مذکور تقریباً ۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. محلول شور با EC≃2 dS/m از طریق رقیق‌سازی و محلول‌های شور EC≃8 dS/m و EC≃14 dS/m با افزودن نمک خوراکی تهیه شدند. در زمان استقرار گیاهان بر روی مخازن هیدروپونیک، هیچ‌گونه کودی به محلول‌های شور اضافه نشد و مخازن هیدروپونیک مذکور در زمان آزمایش با پمپ هوا، هوادهی شدند. با کاشت گیاه کینوا در سیستم هیدروپونیک و استفاده از سه سطح شوری مختلف به‌عنوان متغیر مستقل، درصد کاهش شاخص‌های شوری از قبیل هدایت الکتریکی و غلظت یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و کلراید به‌عنوان متغیر وابسته به‌صورت تجربی مورد مطالعه قرار گرفت.

برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی از EC متر (مدل WTW Cond 3110)، برای اندازه‌گیری سدیم از دستگاه فلیم فتومتر دیجیتالی (مدل Jenway-pfp7) استفاده شد و غلظت‌های یون‌های کلسیم و منیزیم و کلراید نیز با استفاده از تیتراسیون مطابق روش‌های استاندارد APHA اندازه‌گیری شد. همچنین وزن گیاهان مذکور در آغاز و پایان آزمایش برای تعیین نرخ رشد گیاه در سطوح شوری مختلف توسط ترازوی دیجیتالی (مدل ADAM) اندازه گیری شد. نتایج آزمایش توسط نرم‌افزار IMB SPSS 21 و برای حصول اطمینان کافی، نتایج نیز با نرم‌افزار SAS 9.4 نیز بررسی شد. برای آزمون نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو ویلک (Shapiro-wilk) و برای آزمون یکنواختی و همگنی واریانس‌ها از آزمون لون (Leven) استفاده شد. برای مقایسه نتایج ظروف هیدروپونیک در سطوح شوری مختلف از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (Least significant difference LSD) در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد. مراحل انجام کار در شکل‌های ۱ و ۲ و مشخصات آب تصفیه نشده در جدول ۱ دیده می‌شود.

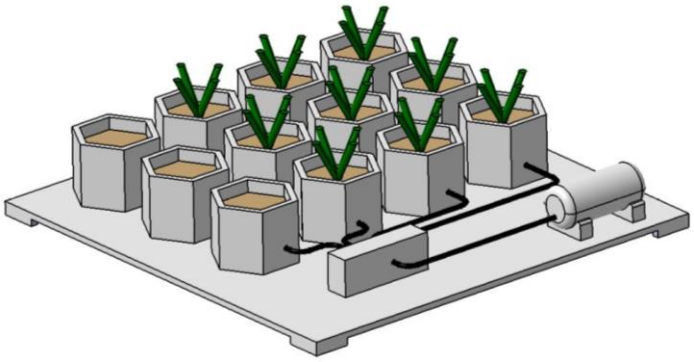
نتایج و بحث

رشد گیاه

نرخ رشد در سطوح شوری EC≃2 dS/m، EC≃8 dS/m و EC≃14 dS/m به‌ترتیب برابر با ۳۹/۵۱، ۳۳/۱۲ و ۲۷/۵۱ گرم در یک ماه اندازه‌گیری شد. رشد بهینه در محیط ریشه بین ۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌مولار در تعداد زیادی از هالوفیت‌های دولپه‌ای مشاهده می‌شود (۱۲). گیاه هرچند هالوفیت باشد حضور ترکیبات سمی بالا و شوری شدید برایش تنش محسوب می‌شود و درنتیجه کاهش رشد حادث می‌شود. جدول ۲، تجزیه واریانس پارامترهای شوری اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی یکی از شاخص‌های اصلی سنجش شوری آب است. طبق آزمایش‌های انجام شده، این گیاه در مدت یک ماه، هدایت الکتریکی آب با EC≃2 dS/m را بین ۴ تا ۷ درصد و به‌طور متوسط ۰/۸۸ ±۵/۳۳ درصد کاهش داد، آب با EC≃8 dS/m را بین ۶/۵۰ تا ۹/۷۵ درصد و به‌طور متوسط ۰/۹۳ ±۸/۱۲ درصد و آب با EC≃14 dS/m را بین ۸/۱۴ تا ۱۰/۷۸ درصد و به‌طور متوسط ۰/۷۷ ±۹/۳۵ درصد کاهش داد. بر اساس نتایج تحلیل واریانس، اثر متقابل دوگانه (غلظت شوری × زمان) معنی‌دار نشده است. همچنین اختلاف معنی‌داری در نوع غلظت شوری ($P<0.01$) و زمان‌ماند ($P<0.05$) وجود دارد. هر سه سطح غلظت شوری (۲، ۸ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر) با یکدیگر از لحاظ آماری تفاوت داشتند که علت این امر می‌تواند ناشی از اختلاف چشمگیر در مقادیر اولیه نوع زه‌آب شور درنظر گرفت. همچنین معنی‌دار شدن زمان‌ماند حاکی از عملکرد بهتر گیاه با گذشت زمان و مصرف گیاه از مواد



شکل ۱. نمای کلی از سیستم هیدروپونیک مورد استفاده در پژوهش

شکل ۲. استقرار گیاهان کینوا درون مخازن در شروع انجام آزمایش

جدول ۱. مشخصات آب تصفیه نشده در سطوح مختلف شوری

هدایت الکتریکی (dS/m)	کل مواد جامد محلول (mg/L)	کلسیم (mg/L)	منیزیم (mg/L)	سدیم (mg/L)	کلراید (mg/L)
۲	۱۲۹۹/۲۰	۲۰۰	۷۲	۲۸۵/۵۹	۵۳۲/۵
۸	۵۱۲۶/۴۰	۴۲۴	۱۹۲	۱۵۶۹/۵۸	۲۱۳۰
۱۴	۸۹۶۶/۴۰	۴۸۰	۲۵۴/۴۰	۳۴۸۲/۵۰	۴۲۶۰

جدول ۲. تجزیه واریانس برای پارامترهای اندازه‌گیری شده از زه‌آب شور تصفیه شده توسط گیاه کینوا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		EC (dS/m)	Na^{+} (mg/L)	Cl^{-} (mg/L)	Ca^{2+} (mg/L)	Mg^{2+} (mg/L)
غلظت شوری	۲	۳۹۲/۶۲*	۲۹۲۸۸۲۸۰/۸۰*	۳۹۰۳۶۹۴۲/۲۵*	۲۳۶۹۱۴/۵۲*	۱۰۲۷۹۱/۵۲*
طول دوره آزمایش	۱	۰/۰۳**	۲۴۳/۱۵**	۱۷۷/۷۸**	۱۰۶/۷۷**	۱۶/۳۶**
اثر گیاه	۱	۳/۵۴*	۶۸۲۸۲/۹۲*	۱۸۸۷۹۰/۲۵*	۵۵۲۵/۴۴*	۲۰۲/۹۲*
غلظت شوری× طول دوره آزمایش	۲	۰/۰۰۵ns	۳۶/۰۷ns	۲۰/۱۱ns	۴۴/۳۶ns	۰/۰۳۴ns
غلظت شوری× اثر گیاه	۲	۰/۹۴*	۲۶۲۲۰/۶۴*	۵۳۶۸۲/۲۵*	۷۶۲/۵۲*	۳۰/۳*
طول دوره آزمایش× اثر گیاه	۱	۰/۰۳۴**	۲۴۳/۱۵**	۱۷۷/۷۸**	۱۰۶/۷۷**	۱۶/۳۶**
غلظت شوری× طول دوره آزمایش × اثر گیاه	۲	۰/۰۰۵ns	۳۶/۰۷ns	۲۰/۱۱ns	۴۴/۳۶ns	۰/۰۳۴ns
ضریب تغییرات (cv)		۳/۵۰	۸/۹۳	۶/۳۴	۸/۸۱	۱۰/۱۹

*: معنادار در سطح ۱ درصد **: معنادار در سطح ۵ درصد ns: فاقد معنا

مغذی موجود در آب است. همچنین اثر گیاه در سطح یک درصد معنادار شده است که نشان‌دهندهٔ مؤثر بودن گیاه در زیست‌پالایی نمک از محلول‌ها است. شکل‌های ۳ و ۴ به‌ترتیب نمودار تغییر وزن بوته‌ها و میزان کاهش هدایت الکتریکی را در سطوح مختلف شوری پس از گذشت یک ماه نشان می‌دهد.

یون سدیم

هدف از سنجش پارامترهای سدیم، کلسیم و منیزیم بررسی میزان کاهش این یون‌ها در زه‌آب‌ها و پساب‌های شور به‌منظور ورود به محیط زیست است. از بین این عناصر، عنصر سدیم به‌شدت حرکت کرده و سبب آلودگی و تخریب منابع آب و خاک می‌شود. گیاه کینوا در مدت یک ماه، غلظت یون سدیم موجود در آب با EC≃2 dS/m را بین ۲/۳۱ تا ۴/۷۶ درصد و به‌طور متوسط ۰/۷۲ ±۳/۳۵ درصد، غلظت یون سدیم آب با EC≃8 dS/m را بین ۴/۰۵ تا ۵/۱۱ درصد و به‌طور متوسط ۰/۳۰ ±۴/۵۹ درصد و غلظت یون سدیم آب با EC≃14 dS/m را بین ۵/۳۸ تا ۵/۸۰ درصد و به‌طور متوسط ۰/۱۳ ±۵/۶۰ درصد کاهش داد. با افزایش غلظت شوری و به‌تبع افزایش یون سدیم، میزان جذب این یون توسط گیاه بیشتر شده است. همچنین هر سه سطح غلظت یون سدیم (۲۸۵/۵۹، ۱۵۶۹/۵۸ و ۳۴۸۲/۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) از لحاظ آماری با یکدیگر تفاوت داشته‌اند.

یون کلراید

تأثیر گیاه کینوا بر یون کلراید نیز قابل توجه بوده به‌طوری که این گیاه در مدت یک ماه، غلظت یون کلراید موجود در آب با EC≃2 dS/m را بین ۴/۰۳ تا ۷/۲۳ درصد و به‌طور متوسط ۰/۲۳ ±۵/۷۹ درصد، غلظت یون کلراید آب با EC≃8 dS/m را بین ۵/۳۰ تا ۵/۸۶ درصد و به‌طور متوسط ۰/۱۶ ±۵/۵۷ درصد و غلظت یون کلراید آب با EC≃14 dS/m را بین ۶/۷۸ تا ۷/۱۸ درصد و به‌طور متوسط ۰/۱۱ ±۷/۰۱ درصد کاهش داد. همچنین از لحاظ آماری هر سه سطح غلظت یون کلراید (۵۳۲/۵۰، ۲۱۳۰ و ۴۲۶۰ میلی‌گرم بر لیتر) با یکدیگر تفاوت داشته‌اند.

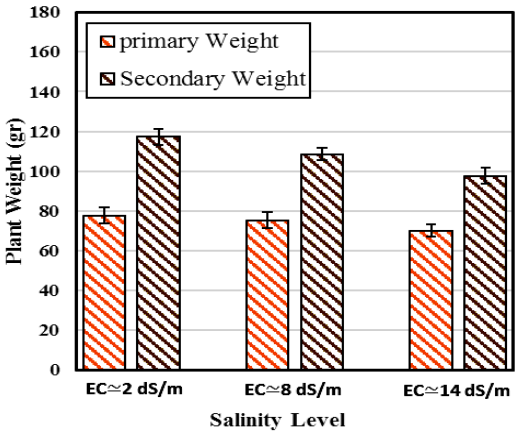
یون کلسیم

کلسیم یکی از عناصر ضروری در ساختار تمامی گیاهان بوده و میزان جذب آن توسط گیاه زیاد بوده است. گیاه کینوا در مدت یک ماه، غلظت یون کلسیم موجود در آب با EC≃2 dS/m را بین ۳ تا ۶/۵۰ درصد و به‌طور متوسط ۱/۰۲ ±۴/۵۰ درصد، غلظت یون کلسیم آب با EC≃8 dS/m را بین ۴/۹۵ تا ۸/۲۵ درصد و به‌طور متوسط ۰/۹۵ ±۶/۵۲ درصد و غلظت یون کلسیم آب با EC≃14 dS/m را بین ۸/۷۵ تا ۱۱/۴۵ درصد و به‌طور متوسط ۰/۷۸ ±۱۰ درصد کاهش داد. بر اساس نتایج تحلیل واریانس، هر سه سطح غلظت یون کلسیم (۲۰۰، ۴۲۴ و ۴۸۰ میلی‌گرم بر لیتر) از لحاظ آماری با یکدیگر تفاوت داشته‌اند. این گیاه با افزایش غلظت یون کلسیم موجود در آب‌شور، توانسته است عملکرد بهتری از نظر جذب کلسیم داشته باشد.

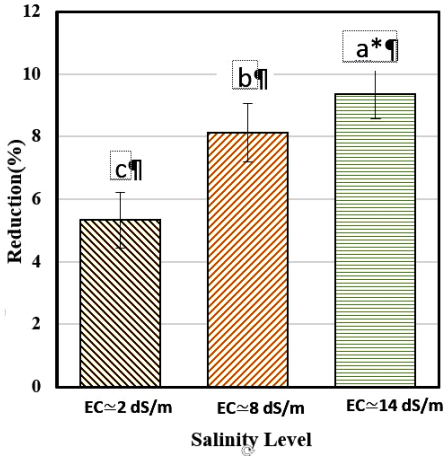
یون منیزیم

گیاه کینوا در مدت یک ماه، غلظت یون منیزیم موجود در آب با EC≃2 dS/m را بین ۶/۷۶ تا ۸/۰۵ درصد و به‌طور متوسط ۰/۴۳ ±۷/۶۲ درصد، غلظت یون منیزیم آب با EC≃8 dS/m را بین ۲/۶۰ تا ۷/۲۱ درصد و به‌طور متوسط ۰/۷۶ ±۳/۸۰ درصد و غلظت یون منیزیم آب با EC≃14 dS/m را بین ۰/۹۴ تا ۲/۹۰ درصد و به‌طور متوسط ۰/۵۷ ±۲/۰۴ درصد کاهش داد. بر اساس نتایج تحلیل واریانس، بین تمامی سطوح غلظت یون منیزیم (۷۲، ۱۹۲، ۲۵۴/۴ میلی‌گرم بر لیتر) اختلاف معنادار آماری دیده می‌شود. همچنین با کاهش غلظت یون منیزیم موجود در آب‌شور، گیاه کینوا عملکرد بهتری در جذب این یون داشت.

شکل‌های ۵ تا ۸ به‌ترتیب میزان کاهش یون‌های کلسیم،

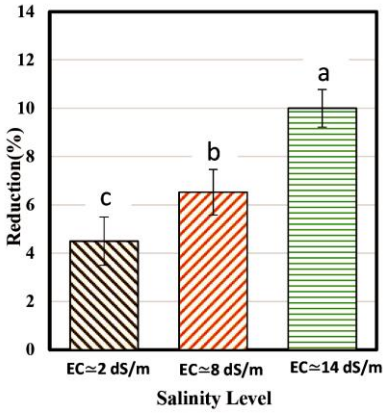


شکل ۳. نمودار تغییر وزن بوته‌های گیاه کینوا در سطوح مختلف شوری
(رنگی در نسخه الکترونیکی)

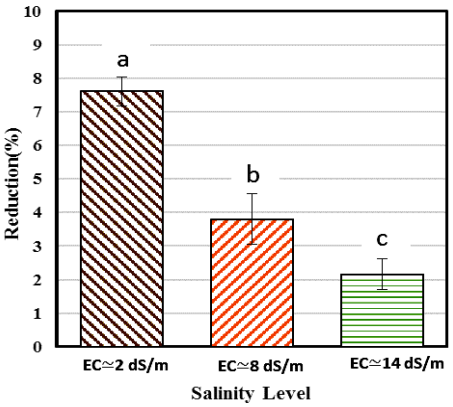


* : نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی دار آماری (p<0/05) در سطوح مختلف شوری

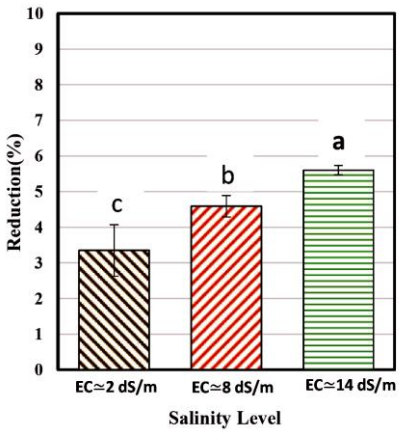
شکل ۴. میزان کاهش هدایت الکتریکی در سطوح مختلف شوری
(رنگی در نسخه الکترونیکی)



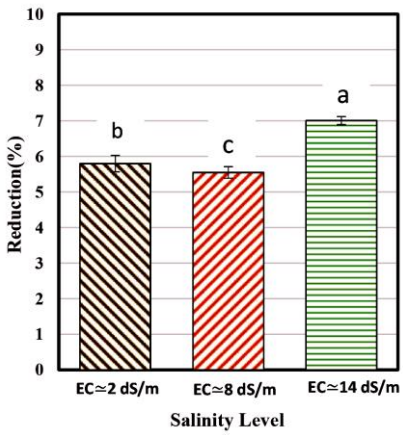
شکل ۵. میزان کاهش یون کلسیم در سطوح مختلف شوری
(رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۶. میزان کاهش یون منیزیم در سطوح مختلف شوری
(رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۷. میزان کاهش یون سدیم در سطوح مختلف شوری
(رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۸ . میزان کاهش یون کلراید در سطوح مختلف شوری
(رنگی در نسخه الکترونیکی)

منیزیم، سدیم وکلراید را در سطوح مختلف شوری پس از گذشت یک ماه نشان می‌دهد.

همچنین شکل ۹ (الف تا و) میزان تأثیر گیاه کینوا بر یون های غالب در سطوح مختلف شوری پس از گذشت ۱۵ روز را نشان می‌دهد.

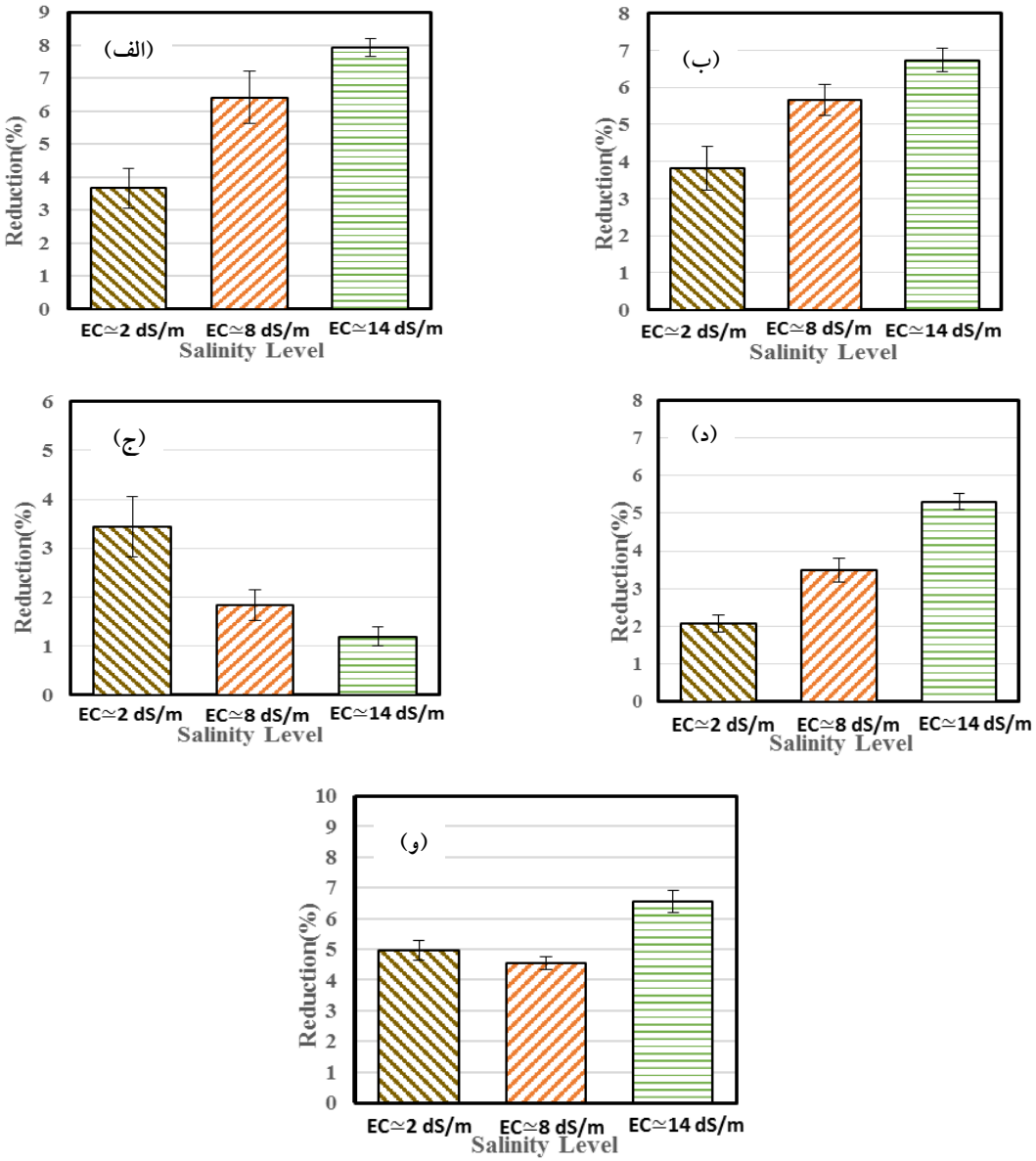
جدول ۳، مقایسه میانگین برای اثرات متقابل دوگانه (غلظت شوری×اثرگیاه) را برای پارامترهای اندازه‌گیری شده نشان می دهد. این جدول نشان‌دهندهٔ این است که تمامی تیمارها با شاهد تفاوت معنی‌داری دارند.

گیاه کینوا جزء خانواده آمارانتاسه است و این خانواده به‌دلیل داشتن مکانیسم تنظیم اسمزی، قادر به جذب یون‌های سدیم و کلراید به مقدار زیادی است. برای تنظیم اسمزی برگ، گیاه نیاز به سدیم دارد و در عمل متابولیکی برگ، به‌عنوان نگهدارنده، شادابی و بقای گیاه نیز نقش دارد (۱۶). همچنین از مهم‌ترین اثرات افزایش شوری در محیط، افزایش غلظت سدیم در داخل گیاه است. سدیم در محیط خارج از ریشه و همچنین در داخل گیاه، بیشترین تغییرات را در تغذیه معدنی گیاه به‌وجود می‌آورد (۱۵). نتایج این پژوهش با نتایج خان و همکاران (۲۱) درباره گیاهان هالوفیت آتریپلکس و سوئدا هماهنگی داشت. یون کلراید نیز به‌سادگی به‌وسیله گیاه جذب می‌شود و در مسافت‌های کوتاه و بلند درون گیاه از تحرک بیشتری برخوردار است. کلر در گیاهان آلی نقش‌های عمده خود را به‌عنوان یک آنیون غیرآلی بسیار متحرک، به‌صورت یون کلراید در فرایندهای مربوط به جبران بار الکتریکی و تنظیم اسمزی بازی می‌کند (۱۶). اثر فزونی کلر در مناطقی که آب آبیاری آنها دارای کلر فراوان است را می‌توان در تجمع کلر در برگ‌های گیاهان مشاهده کرد. مقاومت گیاهان مختلف نسبت به این تجمع متفاوت است. معمولاً درختانی مانند خرما، پسته و همچنین محصولاتی نظیر جو مقاومت بیشتری دارند و برخی درختان مانند هلو، زردآلو، مرکبات و محصولاتی مانند توت‌فرنگی، سیب‌زمینی و توتون حساسیت بیشتری نسبت به کلر نشان می‌دهند. به‌طورکلی برعکس گیاهان زراعی علفی، گونه‌های چوبی گیاهان عمدتاً نسبت به سمیت کلر حساس‌تر هستند. در عین‌حال، همان‌گونه که گفته شد تحمل گیاه در برابر کلر بین گونه‌های مختلف و حتی ارقام و پایه‌های یک‌گونه معین متغیر است که این مقاومت بیشتر ناشی از توانایی گیاه در جلوگیری از تجمع کلر در بافت‌های آن است. کلر موجود در گیاهان در مقایسه با سدیم معمولاً شاخص حساس‌تری نسبت به شوری بوده و با افزایش شوری به‌سرعت در گیاه تجمع پیدا می‌کند و معمولاً میزان آن در اندام‌های گیاهی بیشتر از سدیم است. در بسیاری از گیاهان خصوصاً گیاهان مقاوم به شوری، کلر و سدیم جذب شده در ریشه و ساقه تجمع پیدا کرده و به برگ‌ها انتقال پیدا نمی‌کند که این مسئله اهمیت زیادی در مقاومت به شوری دارد (۵).

کلسیم و منیزیم دو عنصر بسیار مهم و کاربردی در تغذیه گیاهان است که همواره نسبت بین آنها (Ca/Mg) از جمله عواملی است که در ارزیابی کیفیت آب آبیاری باید مورد توجه قرار گیرد. اهمیت میزان این دو عنصر معمولاً در ارتباط با میزان سدیم موجود در آب آبیاری سنجیده می‌شود و این نسبت در تعیین کیفیت آب آبیاری به‌خصوص از لحاظ کیفیت فیزیکی خاک مربوط به آن، اهمیت زیادی پیدا می‌کند. مطالعات نشان می‌دهد در برخی مناطق که کاشت گیاهان مقاوم به شوری رایج است، بر هم خوردن تعادل این دو عنصر، بیش از افزایش شوری به گیاه آسیب رسانده است. غلات به کمبود کلسیم ناشی از زیادی سدیم حساسیت زیادی دارند. بالا بودن نسبت کلسیم به منیزیم می‌تواند باعث به‌هم خوردن تعادل تغذیه‌ای در گیاه شود، مثلاً در ذرت و سویا اگر این نسبت، بالاتر از یک باشد، کاهش عملکرد مشاهده می‌شود (۱۴).

تحلیل آب شوری‌زدایی شده توسط گیاه کینوا برای استفاده در کشاورزی

گیاهان نیز در مقابل شوری از خود واکنش‌های مختلفی نشان می‌دهند تا بتوانند آسیب‌های ناشی از شوری را به حداقل برسانند. البته لازم به ذکر است که گیاهان مختلف نیز در برابر شوری دارای



شکل ۹. تأثیر گیاه کینوا بر یون‌های غالب در سطوح مختلف: الف) هدایت الکتریکی، ب) کلسیم، ج) منیزیم، د) سدیم و و) کلراید پس از گذشت ۱۵روز

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات متقابل غلظت شوری× اثر گیاه

پارامتر	هدایت الکتریکی (dS/m)			غلظت یون سدیم (mg/L)			غلظت یون کلراید (mg/L)		
EC(dS/m)	۲	۸	۱۴	۲	۸	۱۴	۲	۸	۱۴
حاوی گیاه	۱/۹۱^{f}	۷/۴۱^{d}	۱۲/۷۹^{b}	۲۷۷/۸۳^{f}	۱۵۰۶/۱۹^{d}	۳۲۹۲/۳۳^{b}	۵۰۴^{f}	۲۰۱۵^{d}	۳۹۶۹^{b}
بدون گیاه (شاهد)	۲^{e}	۸^{c}	۱۴^{a}	۲۸۶^{e}	۱۵۷۰^{c}	۳۴۸۳^{a}	۵۳۱^{e}	۲۱۳۰^{c}	۴۲۶۰^{a}

اعدادی که دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت معنی‌دار آماری بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

ادامه جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات متقابل غلظت شوری× اثر گیاه

پارامتر	غلظت یون کلسیم (mg/L)			غلظت یون منیزیم (mg/L)		
EC(dS/m)	۲	۸	۱۴	۲	۸	۱۴
حاوی‌گیاه	۱۹۱/۶۶^{f}	۳۹۸/۱۶^{d}	۴۳۹/۸۳^{b}	۶۷/۹۵^{f}	۱۸۶/۱^{d}	۲۵۰/۱^{b}
بدون گیاه (شاهد)	۲۰۰^{e}	۴۲۴^{c}	۴۸۰^{a}	۷۲^{e}	۱۹۲^{c}	۲۵۴^{a}

اعدادی که دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت معنی‌دار آماری بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

قدرت تحمل متفاوتی هستند. شکل ۱۰ طبقه‌بندی گیاهان را در برابر تحمل شوری آب آبیاری (EC_w) و شوری خاک (EC_e) با توجه به میزان کاهش محصول نشان می‌دهد (۲۲).

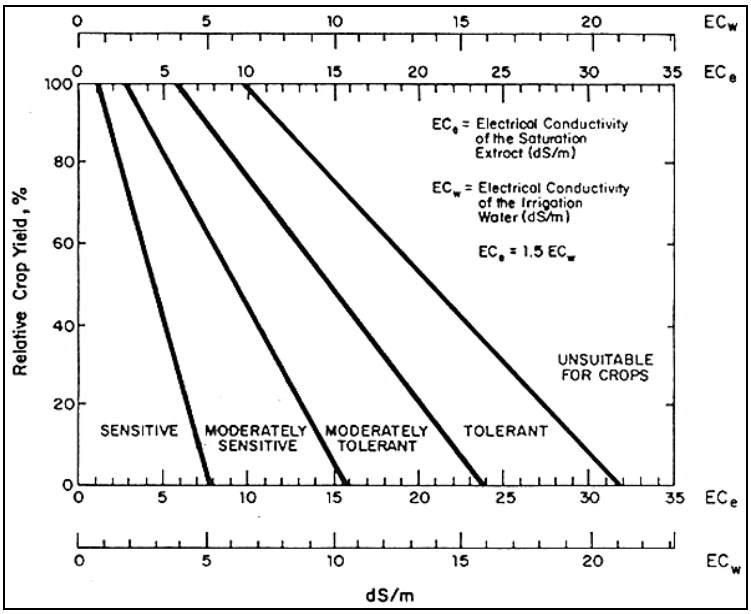
به‌عنوان مثال، اگر آب آبیاری با شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر موجود باشد و با این آب گیاهان حساس و به‌نسبت حساس به شوری را آبیاری کنیم، عملکرد این گیاهان به‌ترتیب ۷۰ و ۹۶ درصد می‌شود. ولی اگر قبل از آبیاری فرایند گیاه‌پالایی نمک با استفاده از گیاه کینوا را بر روی آب آبیاری انجام دهیم، می‌توانیم پتانسیل عملکرد همان گیاهان را به ۷۸ و ۱۰۰ درصد برسانیم. همچنین اگر آب آبیاری با شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر موجود باشد و با این آب گیاهان نسبتاً حساس، نسبتاً مقاوم و مقاوم به شوری را آبیاری کنیم، عملکرد این گیاهان به‌ترتیب ۳۰ ، ۶۵ و ۹۰ درصد می‌شود که با فرایند گیاه‌پالایی می‌توانیم پتانسیل عملکرد همان گیاهان را به ۴۰ ، ۷۲ و ۹۶ برسانیم. اگر آب آبیاری با شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر موجود باشد و با این آب گیاهان نسبتاً مقاوم و مقاوم به شوری را آبیاری کنیم، عملکرد این گیاهان به‌ترتیب ۱۸ و ۵۰ درصد می‌شود، ولی با فرایند گیاه‌پالایی نمک می‌توانیم پتانسیل عملکرد همان گیاهان را به ۲۶ و ۵۹ درصد برسانیم.

کنترل کفایت و صحیح بودن تجزیه واریانس برای پارامترهای اندازه‌گیری شده

تمامی مقادیر باقی‌مانده پارامترهای هدایت الکتریکی و یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و کلراید در بازه $\pm ۲/۵۷ \times \sqrt{MSE}$ قرارگرفته‌اند که حاکی از عدم وجود نقاط پرت هستند. برای آزمون نرمال بودن باقی‌ماندهٔ داده‌ها از آزمون شاپیرو ویلک استفاده شد. با درنظر گرفتن فرض H_0 (به‌عنوان نرمال بودن باقی‌ماندهٔ داده‌ها) و فرض H_1 (به‌عنوان نرمال نبودن باقی‌ماندهٔ داده‌ها) اگر مقادیر آستانه احتمال (Probability) بیشتر از ۰/۰۵ باشد، آنگاه فرض H_0 در سطح اطمینان ۹۵ درصد قبول می شود. همچنین برای آزمون همگنی و یکنواختی واریانس‌ها از آزمون لون استفاده شد. با فرض H_0 (به‌عنوان مساوی بودن واریانس‌ها) و فرض H_1 (به‌عنوان مساوی نبودن واریانس‌ها) اگر مقادیر آستانه احتمال بیشتر از ۰/۰۵ باشد، آنگاه فرض H_0 در سطح اطمینان ۹۵ درصد قبول می‌شود. جدول ۴ حاکی از نرمال بودن باقی‌مانده‌ها و همگنی و یکنواختی واریانس‌های درون تیماری برای پارامترها است.

نتیجه‌گیری

گیاه‌پالایی، یک فناوری سبز و روشی سازگار با محیط زیست است و همراه با پالایش آب و یا خاک، امکان ایجاد فضای سبز در منطقه آلوده را نیز امکانپذیر می‌سازد. اگرچه هدف از این پژوهش، امکان شوری‌زدایی آب‌های نامتعارف به‌وسیله گیاه هالوفیت کینوا بود ولی می‌توان از جنبه‌های دیگری نیز به این موضوع نگاه کرد. تولید بذوری با پروتئین بالا و میزان بالای عناصر ریزمغذی، استفاده از منابع آب‌شور بیشتر از ۱۰ دسی زیمنس بر متر که برای گیاهان زراعی معمول نیست، جایگزین مناسب غلات معمول (گندم و برنج) در تغذیهٔ



شکل۱۰. مقاومت گیاهان در برابر شوری آب و خاک (۲۲)

جدول۴. آزمون نرمال بودن و آزمون همگنی واریانس‌ها برای پارامترهای اندازه‌گیری شده

پارامترهای اندازه‌گیری شده	آزمون نرمال بودن		آزمون همگنی	
	آماره	آستانه احتمال	توزیع F	آستانه احتمال
هدایت الکتریکی	۰/۹۵۳	۰/۴۷۲	۲/۰۷۲	۰/۱۴۰
کلسیم	۰/۹۶۳	۰/۶۷۰	۰/۶۷۳	۰/۶۵۲
منیزیم	۰/۹۷۳	۰/۸۴۹	۱/۵۵۷	۰/۲۴۵
سدیم	۰/۷۹۳	۰/۵۷۵	۰/۹۳۹	۰/۲۸۳
کلراید	۰/۵۵۳	۰/۷۳۴	۰/۸۹۸	۰/۰۵۴

کودکان و افراد دیابتی، قرار گرفتن در تناوب با گندم، جو یا حبوبات در اراضی کم بازده و شور از جمله موارد پتانسیل پیش روی کشت کینوا است. استفاده از گیاه کینوا برای تولید دانه‌های خوراکی با ارزش و همچنین برگ‌های تازه آن می تواند در کنار گیاه‌پالایی نمک، مطرح باشد. به‌عبارت دیگر گیاه کینوا و دیگر هالوفیت‌ها، حتی در صورت عدم موفقیت در گیاه‌پالایی نمک، می‌توانند برای استفاده از خاک‌ها و آب‌های شور در جهت تولید غذا و استفاده از آب‌های نامتعارف به‌کار روند و به‌عنوان گیاهان زراعی در کشاورزی شورزیست مطرح شوند. همچنین این گیاه به‌علت توانایی به نسبت بالایی که در جذب عناصر داشته، می‌تواند فزون بر استفاده‌های مذکور به‌صورت بالقوه به‌عنوان یک گیاه اصلاح کننده شوری خاک نیز مورد توجه باشد. از لحاظ شوری در بین غلات، جو از بقیه متحمل‌تر است ولی گیاه جو در شوری ۲۵ دسی‌زیمنس بر متر از بین می‌رود. درحالی که در این شوری عملکرد گیاه کینوا ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. می‌توان برای کاهش شوری آب آبیاری ابتدا به روش سیستم‌های تصفیه‌ای شناور (که از اولویت‌های این پژوهش بود) اقدام به شوری‌زدایی آب آبیاری کرد و سپس آب شوری‌زدایی شده را به مصرف گیاهان درکشت مورد نظر رساند.

منابع مورد استفاده

1. Abedi-Koupai, J. and J. Asadkazemi. 2006. Effects of a hydrophilic polymer on the field performance of an ornamental plant (*Cupressus arizonica*) under reduced irrigation regimes. *Iranian Polymer Journal* 15(9): 7-15.
2. Abedi-Koupai, J., R. Ezzatian, M. Vossoughi-Shavari, S. Yaghmaei and M. Borghei. 2007. The effects of microbial population on phytoremediation of petroleum contaminated soils using tall fescue. *International Journal of* Agriculture and *Biology* 2(9): 242-246.
3. Abedi-Koupai, J., M. A. Jamalian and M. M. Dorafshan. 2020. Improving isfahan landfill leachate quality by phytoremediation using vetiver and phragmites plants in green space irrigation. *Journal of Water and Wastewater* 31(3): 101-103.
4. Adolf, V. I., S. E. Jacobsen and S. Shabala. 2013. Salt tolerance mechanisms in quinoa *(Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany* 92(13): 43-54.
5. Alam, S. M. 1999. Nutrient Uptake by Plants under Stress Conditions. Handbook of Plant and Crop Stress. CRC Press, New York.
6. Albaho, M. S. and J. L. Green. 2000. Suaeda salsa, a desalinating companion plant for greenhouse tomato. *HortScience* 35(4): 620-623.
7. Bhargava, A., S. Shukla, S. Rajan and D. Ohri. 2007. Genetic diversity for morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm. *Genetic Resources and Crop Evolution* 54(1): 167-173.
8. Buhmann, A. and J. Papenbrock. 2013. Biofiltering of aquaculture effluents by halophytic plants: Basic principles, current uses and future perspectives. *Environmental and Experimental Botany* 92(14): 122-133.
9. Edition, F. 2011. Guidelines for drinking-water quality. *WHO chronicle* 38(4): 104-108
10. Eslamzadeh, T. 2006. In Maharloo Salt Lake Region. *International Journal* 1(1) :75-80.
11. Flowers, T., M. Hajibagheri and N. Clipson. 1986. Halophytes. *The Quarterly Review of Biology* 61(3): 313-337.
12. Flowers, T., P. Troke and A. Yeo. 1977. The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Annual Review of Plant Physiology* 28(1): 89-121.
13. Gomez-Pando, L. 2015. Quinoa Breeding. *Quinoa: Improvement and Sustainable Production* 7(4): 87-108.
14. Grattan, S. and C. Grieve. 1999. Mineral Nutrient Acquisition and Response by Plants Grown in Saline Environments. Handbook of Plant and Crop Stress. CRC Press. New York.
15. Greenway, H. and R. Munns 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annual Review of Plant Physiology* 31(1): 149-190.
16. Horst, M. 1995. Mineral nutrition of higher plants. *Acta Physiologiae Plantarum* 17(2): 393-393.
17. 16. Hussain, A. 2012. Desalination Technologies for Developing Countries. Journal of Scientific Research 10(1): 77-97.
18. Initiative, W. 2012. Water security: The water-food-energy-climate nexus. Island Press, USA.
19. Jabeen, R., A. Ahmad and M. Iqbal. 2009. Phytoremediation of heavy metals: physiological and molecular mechanisms. *The Botanical Review* 75(4): 339-364.
20. Katschnig, D., R. Broekman and J. Rozema,.2013. Salt tolerance in the halophyte Salicornia dolichostachya Moss: growth, morphology and physiology. *Environmental and Experimental Botany* 92(2): 32-42.
21. Khan, M. A., I. A. Ungar and A. M. Showalter. 2000. The effect of salinity on the growth, water status, and ion content of a leaf succulent perennial halophyte, *Suaeda fruticosa* (L.) Forssk. *Journal of Arid Environments* 45(1): 73-84.
22. Mass, E. V. 1984. Salt tolerance of plants. *In*: The Handbook of plant Science in Agriculture. B. R. Christie (Eds.), CRC Press, Boca Raton, Florida.
23. Mezher, T., H. Fath, Z. Abbas and A. Khaled. 2011. Techno-economic assessment and environmental impacts of desalination technologies. *Desalination* 266(2): 263-273.
24. Mujica, A., S. Jacobsen, J. Izquierdo and J. Marathee. 2001. Resultados de la Prueba Americana y Europea de la Quinua. FAO, UNA-Puno, CIP .
25. Rabhi, M., S. Ferchichi, J. Jouini, M. H. Hamrouni, H. W. Koyro, A. Ranieri, C. Abdelly and A. Smaoui. 2010. Phytodesalination of a salt-affected soil with the halophyte *Sesuvium portulacastrum* L. to arrange in advance the requirements for the successful growth of a glycophytic crop. *Bioresource Technology* 101(17): 6822-6828.
26. Ramos, J., M. J. Lopez and M. Benlloch. 2004. Effect of NaCl and KCl salts on the growth and solute accumulation of the halophyte Atriplex nummularia. *Plant and Soil* 259(1): 163-168.
27. Ravindran, K., K. Venkatesan, V. Balakrishnan, K. Chellappan and T. Balasubramanian. 2007. Restoration of saline land by halophytes for Indian soils. *Soil Biology and Biochemistry* 39(10): 2661-2664.

28. Ruiz, K. B., A. Cicatelli, F. Guarino, S. E. Jacobsen, S. Biondi and S. Castiglione. 2017. Can quinoa, a salt-tolerant Andean crop species, be used for phytoremediation of chromium-polluted soil? EGU General Assembly Conference Abstracts.
29. Sas-Nowosielska, A., R. Kucharski, M. Pogrzeba, J. Krzyzak, J. Kuperberg and J. Japenga. 2008. Phytoremediation technologies used to reduce environmental threat posed by metal-contaminated soils: Theory and reality. Simulation and Assessment of Chemical Processes in a Multiphase Environmen.
30. Seth, C. S. 2012. A review on mechanisms of plant tolerance and role of transgenic plants in environmental clean-up. *The Botanical Review* 78(1): 32-62.
31. Shelef, O., A. Gross and S. Rachmilevitch. 2012. The use of Bassia indica for salt phytoremediation in constructed wetlands. *Water Research* 46(13): 3967-3976.
32. Vara Prasad, M. N. and H. M. DE oliveira freitas. 2003. Metal hyperaccumulation in plants: biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electronic Journal of Biotechnology* 6(3): 285-321.
33. Zorrig, W., M. Rabhi, S. Ferchichi, A. Smaoui and C. Abdelly. 2012. Phytodesalination: a solution for salt-affected soils in arid and semi-arid regions. *Journal of Arid Land Studies* 22(13): 229-302.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 26, No. 3, Fall 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Investigation of Bioremediation of Quinoa plant for Desalination of unconventional waters

J. Abedi-Koupai*, M. M. Dorafshan and A. R. Gohari[1]

(Received: March 15-2019 ; Accepted: May 26-2019)

Abstract

One of the most significant techniques for saline wastewater treatment is bioremediation. Halophytes are known as the plants that can tolerate the high concentration of salts, in such salinity common plants cannot be often able to survive. In this research, the feasibility of desalination by using halophyte (*Chenopodium quinoa* Willd.) was studied. Quinoa plants were grown in the hydroponic system in 12 containers including 9 containers with plants and 3 containers without plants as control. Fifteen plants were planted in each container and three salinity levels including 2, 8, and 14 ds/m for two different periods (15 and 30 days) were studied in a multi-factors completely randomized design. Three replications of each salinity level were conducted and the Electrical Conductivity (EC) parameters, including Calcium, Magnesium, Sodium, and Chloride ions were determined before and after treatment by Quinoa plants. The results showed that the Quinoa plants reduced 5.33%, 8.12%, and 9.35% of the EC at EC~2 dS/m (Marginal Water), EC~8 dS/m (Brackish Water), and EC~14 dS/m (Saline Water), respectively. Moreover, Calcium, Magnesium, Sodium, and Chloride ions decreased up to 10%, 7.62%, 5.60%, and 7.01%, respectively depending on the salinity levels. Therefore, the Quinoa plant has a relatively low potential in unconventional water treatment especially saline wastewater.

Keywords: Floating treatment wetland, Desalination, Phytoremediation of salts from solutions

1. Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
*: Corresponding author, Email: koupai@cc.iut.ac.ir